

EPIFITOS Y CONTAMINACION ATMOSFERICA EN LOS ALREDEDORES DE SABADELL (CATALUNYA)¹

Por FERRAN RODA²

INTRODUCCION

Es bien sabido que muchos líquenes y briófitos e pífitos son muy sensibles a la contaminación atmosférica y que estos organismos son útiles como indicadores biológicos del grado de polución aérea .

La proliferación de trabajos sobre criptógamas y contaminación, hacen de la exhaustiva bibliografía anotada que han publicado Hawksworth (1974-78) y Hawksworth y Henderson (1978) sobre líquenes y contaminación, una ayuda imprescindible . En la obra de Ferry *et al.* (eds.) *Air Pollution and Lichens* (1973) se tratan de forma magnífica muchos de los temas de este trabajo. Son útiles la revisión histórica de Hawksworth (1971), la revisión de Gilbert (1974). y la revisión de la bibliografía sobre briófitos y contaminación de LeBlanc y Rao (1974). En el campo divulgativo es muy interesante el librito de Hawksworth y Rose (1976) .

Las distintas especies epífitas manifiestan "resistencias" muy diferentes a los contaminantes y en particular al dióxido de azufre que es la sustancia responsable de la mayor parte de la depauperación de la vegetación epifítica en áreas urbanas e industriales (véanse las revisiones generales de Coppins (1973), Hawksworth (1973) y Gilbert (1974); los efectos del SO₂ sobre la fisiología de líquenes y briófitos han sido estudiados, entre otros, por Baddeley *et al.* (1971, 1972,

1. Departamento de Ecología . Facultad de Ciencias. Universidad Autónoma de Barcelona . Bellaterra (Barcelona)

2. Este trabajo fue parcialmente financiado por la Caja de Ahorros de Sabadell .

1973), Ferry y Baddeley (1976), LeBlanc y Rao (1973 a, 1973 b), Pearson (1973), Puckett *et al.* (1973, 1974) y Showman (1972); los efectos de otros contaminantes se tratan en James (1973), Gilbert (1971, 1973), LeBlanc *et al.* (1971), Nash (1971), Nieboer *et al.* (1972), y Seaward (1974)). Esta sensibilidad específica es la base de muchos de los métodos empleados para evaluar la contaminación a partir de los epífitos, como la "escala biológica" de Hawksworth y Rose (1970) o la elaboración de índices como el IAP de LeBlanc y de Slogver (1970) o el uso del número de especies (riqueza) de cada localidad .

Las escalas biológicas cualitativas tienen muchas ventajas, pues son sencillas y se correlacionan bien con las concentraciones invernales medias de SO_2 ; su mayor inconveniente es que para construir una de estas escalas es preciso disponer de un conocimiento profundo del comportamiento de todas o buena parte de las especies en el territorio investigado . A menudo, y especialmente en la región mediterránea, los conocimientos actuales son insuficientes para esta tarea .

El uso de índices que se calculan a partir de los datos obtenidos en el reconocimiento de la vegetación epifítica es siempre vistoso . Puesto que muchas características ecológicas varían de un modo correlacionado bajo el *stress* de la contaminación, la redundancia de los datos es elevada, y pueden utilizarse con provecho muchos índices de frecuencia, abundancia, recubrimiento y biomasa, así como de tamaño, fertilidad y morbilidad de los ejemplares, sea de una sola especie, de un grupo seleccionado de especies "indicadoras" o de todas las especies de la muestra, ponderadas si se quiere según su sensibilidad, que se deduce, directa o indirectamente, de sus distribuciones en el espacio .

De este último tipo es el "Índice de Pureza Atmosférica" (IAP), que aventaja a las escalas biológicas en que da un resultado cuantitativo y determinado sin subjetividad . Pero el IAP está muy correlacionado con la riqueza (véase Hawksworth, 1973; p.50) de modo que aporta poca información más que un índice mucho más sencillo como es el número de especies .

La finalidad del presente estudio es realizar un mapa de la contaminación atmosférica en los alrededores de Sabadell (*no* en la ciudad misma), basado en la vegetación criptogámica epifítica sobre almendros en las zonas rurales y suburbanas cercanas (0-5 km) al caso urbano-industrial de Sabadell y núcleos vecinos .

Se eligió el método de la riqueza como el más adecuado al caso y se elaboró un mapa 1:50.000 de la variación del número de especies epífitas en el área de estudio . Teniendo en cuenta la falta total de datos sobre los niveles de contaminación atmosférica en el área de influencia de Sabadell, este mapa de la riqueza epifítica puede ser útil como mapa de contaminación mientras no se disponga de una red de estaciones de medida de las concentraciones de SO₂ y otros contaminantes. Se calcularon también los valores del IAP, fundamentalmente como ayuda en la interpretación de los resultados.

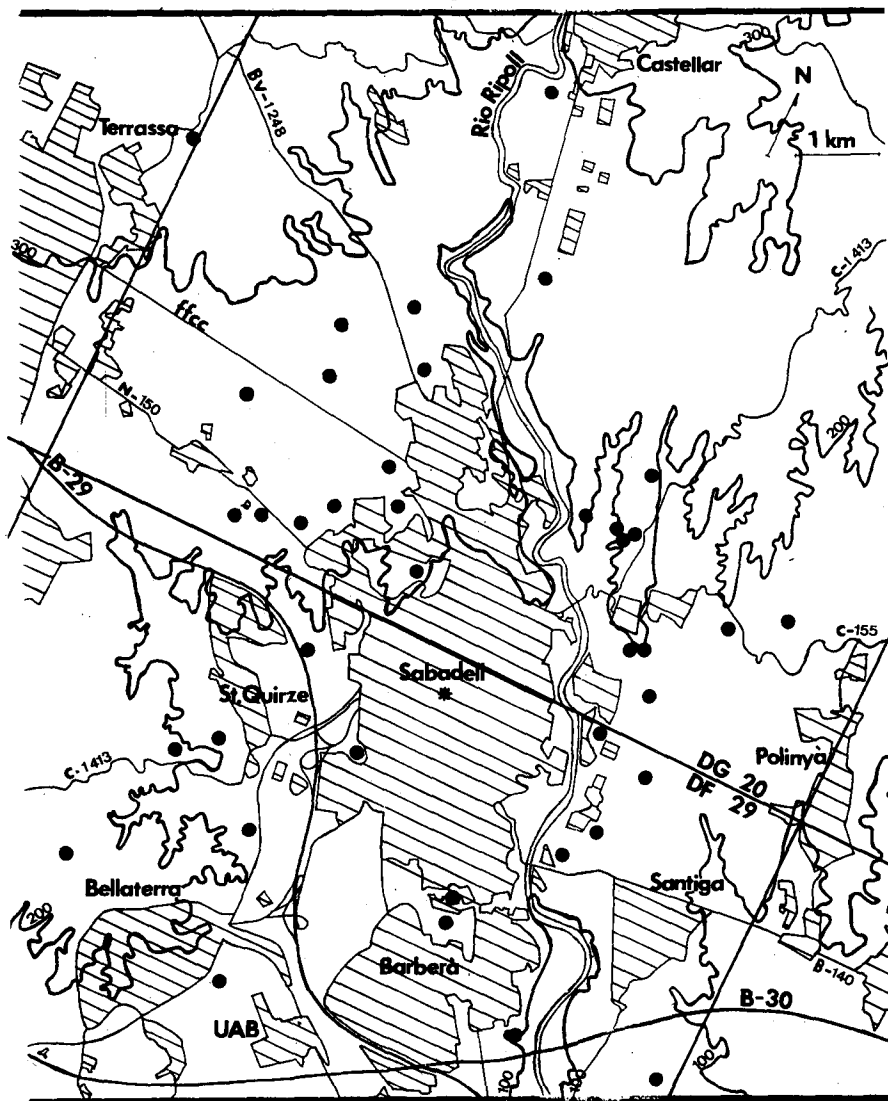
EL AREA DE ESTUDIO

El territorio estudiado (fig.1) tiene unos 125 km², se encuentra en la comarca del Vallès Occidental (Catalunya) y está centrado en la ciudad de Sabadell .

Sus coordenadas extremas son 41°29'30" - 41°37'10" N y 2°01'10" - 2°11'10" E. Más del 90% de su superficie pertenece a las cuadrículas U.T.M. de 10 x 10 km DF 29 y DG 20 (zona 31 T) . La esquina W pertenece a DF 19 y DG 10, mientras que la esquina E está en DF 39 y DG 30 .

El área de estudio se extiende por la depresión prelitoral catalana, con su borde N-NW adosado a las primeras estribaciones de la cordillera prelitoral . La altitud varía entre 80 y 350 m s.n.m. y aumenta suavemente de S-SE a N-NW . Los materiales litológicos (Mapa Geológico de España E.1:50.000, 1975) son silíceo-carbonatados, en su mayor parte cuaternarios (aluviones - indiferenciados y pié de monte del Cuaternario antiguo; depósitos de rieras del Cuaternario reciente) y miocénicos (arcillas, areniscas, y conglomerados sin cemen-

Fig. 1 El área de estudio. Se indican las cuadrículas UTM de 10 km. El asterisco señala el punto utilizado como centro de Sabadell. Equidistancia de las curvas de nivel = 100 m



tar) . El relieve es llano con suaves ondulaciones, pero la red hidrográfica está profundamente encajada. El río Ripoll, que atraviesa el área de NW a SE, posee un amplio sistema de terrazas (1-2 km de anchura y 50-60 m de altura sobre el nivel actual del río) que ha influido en la ubicación de los asentamientos urbanos e industriales .

La distancia al mar es de 11-24 km .

El clima es de tipo mediterráneo septentrional, subhúmedo y marítimo, como puede verse en el diagrama ombrotérmico de la *ciudad* de Sabadell (fig.2), basado en los datos del Archivo Meteorológico Municipal de Sabadell (1978) . La precipitación anual media es de 607 mm, con gran variabilidad interanual (340-1040 mm) y un acusado mínimo estival . Los meses más lluviosos son mayo, septiembre y octubre . Las nieblas matinales son frecuentes e intensas en otoño-invierno, especialmente en las partes bajas . La humedad relativa es bastante elevada: la media de las máximas diarias es del 88% y la de las mínimas, del 47% .

Las temperaturas no son extremas . La media anual es de 15.2°C. La media de las mínimas diarias de invierno (diciembre-febrero) es de 3.5°C y la de las máximas diarias de verano (junio-agosto) 28.5°. En promedio, la temperatura supera los 30° 36.7 días al año y desciende bajo cero 16.6 días, en abrigo termométrico. Las heladas deben ser mucho más frecuentes en el entorno rural .

Los vientos predominantes soplan del segundo cuadrante en marzo-septiembre y del cuarto cuadrante en octubre-febrero .

En la figura 3 puede verse la distribución de tres tipos fundamentales de uso del suelo (urbano-industrial, agrícola y forestal) en el área de estudio a finales de 1976 .

Los municipios con todo su término dentro del área de estudio son (entre paréntesis su población en 1977) : Sabadell (187000), Barberà del Vallès (22000), St.Quirze del Vallès (4500) y Polinyà del Vallès (2000). Los municipios periféricos que tienen sólo una pequeña

Fig. 2 Diagrama ombrotérmico de la ciudad de Sabadell.
 Se indican: (arriba) el número de años de observaciones, la altitud y las medias anuales de temperatura y precipitación; (izquierda) media de las máximas diarias del mes más cálido, oscilación térmica, y media de las mínimas diarias del mes más frío. (Archivo Meteorológico Municipal de Sabadell, 1973).

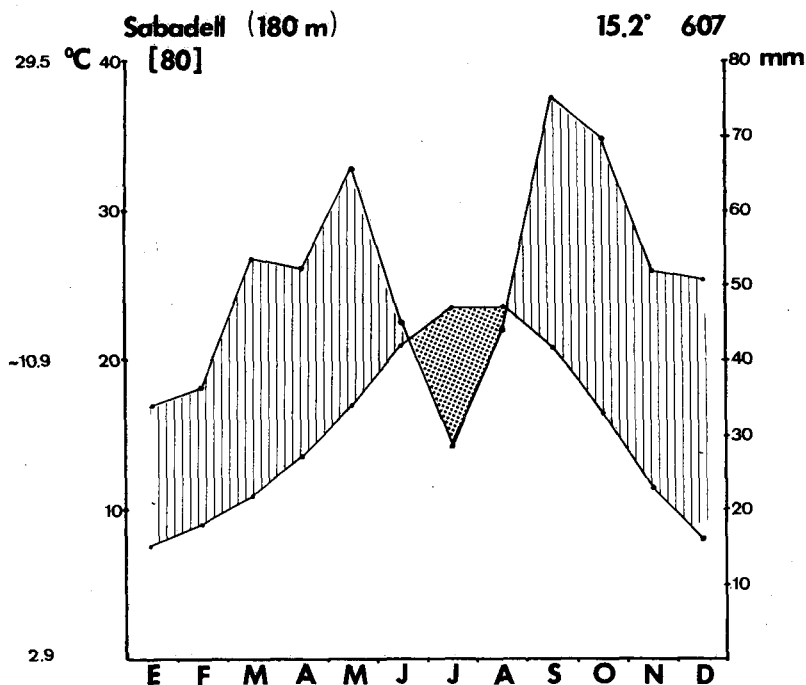


Fig. 3 Usos del suelo en el área de estudio. Rayado = zonas edificadas. Punteado = bosques y monte bajo. Blanco = cultivos y campos abandonados. * = principales zonas industriales.



parte de su población dentro del área son (entre paréntesis su población *total* en 1977); Terrassa (165000), Cerdanyola del Vallès (39000) y Castellar del Vallès (11000). La población total del área de estudio es difícil de estimar, pero debía estar cerca de los 250000 habitantes en dicho año. La gran concentración urbana de Barcelona, con sus tres millones de personas, dista del área unos 10-20 km en dirección SE y queda separada de ella por la cordillera litoral catalana, que en esta zona alcanza alturas máximas de 300-350 m.

Los núcleos del área son eminentemente industriales (el 72% de la población activa del Vallès Occidental trabaja en el sector secundario). Las principales zonas industriales están en los extremos E, S y SW del casco urbano de Sabadell y en Barberà, Polinyà, Santiga, St. Quirze, extremo S de Castellar, y Terrassa. Buena parte de las industrias del área se concentran en las proximidades del río Ripoll a su paso por Sabadell y Barberà (cf. fig.3).

Los cultivos y campos abandonados ocupan aproximadamente la mitad del territorio estudiado. El secano domina totalmente sobre el regadío. La agricultura tradicional basada en el trigo, la vid, el olivo y el almendro ha cedido el paso en muchos sectores a una agricultura modernizada de forrajes y cereales de invierno.

Bosques y monte bajo ocupan algo más de la cuarta parte del área. Sólo el pino carrasco (*Pinus halepensis*) forma masas forestales de cierta consideración. En varias partes de la zona agrícola hay una notable red de bosques de ribera y setos boscosos que pueden ser importantes como refugio de especies y como modificadores del microclima de los campos vecinos.

No se dispone de datos sobre los niveles de contaminación atmosférica en el área de estudio, pero la elevada densidad urbana e industrial de las ciudades vallesanas y la multiplicidad de núcleos de población muy cercanos entre sí garantizan un aire fuertemente contaminado. Sin embargo, campos y bosques ocupan aún la mayor parte del territorio y es posible que las concentraciones de contaminantes *promediadas* para toda el área no sean excesivamente altas.

METODOS

La especie de árbol escogida para realizar el trabajo fue el almendro (*Prunus dulcis* (Miller) D.A. Webb). En el área de estudio, ninguna otra especie arbórea es portadora de epífitos en cantidad y variedad suficientes de un modo regular .

La elección de una especie cultivada facilitó la estandarización de los lugares de muestreo y permite tomar como estación un grupo de árboles que crecen próximos entre sí y en condiciones ecológicas comparables .

Se cartografió la distribución de los almendrales (campos de almendros) en el área de estudio sobre los mapas 1:10.000 del Area Metropolitana de Barcelona, y se escogieron 40 de ellos como estaciones de muestreo.

En cada almendral seleccionado se examinaron, si el número de árboles lo permitía, un mínimo de 15-20 almendros y se elaboró una lista de las especies epífitas encontradas, procurando que ésta se aproximase todo lo posible al total de especies presentes en la estación. Se tuvieron en cuenta las criptógamas (algas visibles macroscópicamente, líquenes y briófitos) sobre la corteza de troncos y ramas entre 0 y 2-2.3 m, en todas las orientaciones e incluyendo todos los árboles del campo independientemente de su tamaño o inclinación . No hubiera sido aconsejable prescindir de los ejemplares inclinados, pues buena parte de los almendros tenían inclinaciones apreciables y los árboles verticales eran mucho más pobres en epífitos .

Se evaluó la abundancia-dominancia media de cada especie en el conjunto de árboles de la estación, asignándole un valor en una escala arbitraria de 1 a 6. Dado que los recubrimientos medios son muy bajos, de haber utilizado la escala de Braun-Blanquet raramente se sobrepasaría el valor 1 .

En 28 estaciones se recogieron muestras de la corteza de varios árboles, a 1.3-1.7 m del suelo y siem

pre de la parte del tronco encarada a Sabadell . Para determinar el pH de la corteza se juntaron las muestras de los árboles de un mismo almendral . Se trituraron unos 9 g (peso seco al aire) de esta muestra compuesta y se mantuvieron en agitación continua con un volumen doble de agua destilada durante 6 h. El pH de la suspensión resultante se midió con un pHmetro electrométrico.

Se tomó el punto de coordenadas U.T.M. 425500 , 4599500 (fig.1) como centro de Sabadell-Barberà.

Con los resultados obtenidos, se cartografiaron sobre el mapa 1:50.000 del A.M.B. la distribución de las especies, las abundancias de algunas de ellas, el pH , el IAP y el número de especies de cada estación .

El trabajo de campo se realizó en otoño de 1976.

ANALISIS DE LOS DATOS

Para cada especie se calculó su cortejo específico medio (CEM) definido aquí como la riqueza media de las estaciones en las que se encuentra la especie. Los proponentes de este índice (LeBlanc y De Sloover, 1970) lo calculan como el número medio de especies que acompañan a la especie en cuestión . El CEM calculado según la primera definición es una unidad más alto que el de dichos autores y puede ser comparado directamente con el número medio de especies de todas las estaciones y con el número medio de especies de las estaciones en las que la especie está ausente, sin necesidad de sumar le una unidad .

El CEM de una especie nos mide el grado con el que ésta tiende a habitar estaciones ricas o pobres en especies y, si la contaminación atmosférica es el principal factor limitante de la riqueza en la zona considerada, nos informa sobre el grado de sensibilidad o resistencia de la especie a la polución . Abreviadamente, se dice que el CEM es un índice de poleofobia o, mejor aún, de toxifobia .

Para cada almendral se calculó el IAP, que es la suma de los valores de abundancia-dominancia de todas

sus especies, ponderados según sus CEMs y dividido por 10 para dar una escala cómoda . La fórmula es:

$$IAP = \sum_{i=1}^n f_i CEM_i / 10$$

donde f_i es el valor de abundancia-dominancia (o de frecuencia, biomasa, etc.) de la especie i -sima en la estación y n la riqueza de esta última .

El IAP es un índice de la "calidad" de la vegetación epifítica de una localidad, pues tiene en cuenta el número de especies, sus cantidades, y las pondera en función de su sensibilidad . Donde exista una fuerte - correlación entre epífitos y contaminación, el IAP se rá también un índice de la pureza del aire .

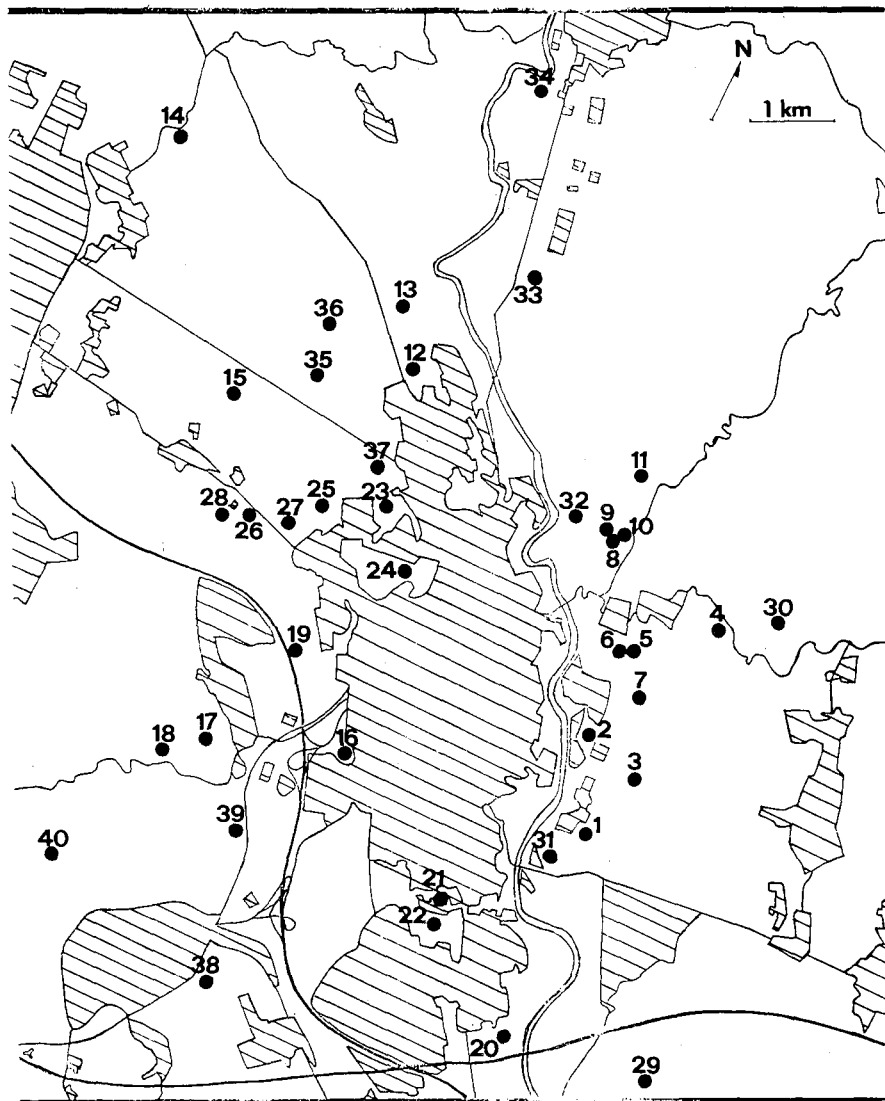
Con las 37 primeras estaciones examinadas y las 37 especies (excluyendo a *Pleurococcus viridis*, alga omnipresente que no aporta gran información en el área de estudio) encontradas en 3 ó más de dichas estaciones , se construyó una matriz con los almendrales en las columnas y las especies en las filas, cuyos elementos eran los valores de abundancia-dominancia de cada especie en cada estación .

Esta matriz, sin transformación alguna, se sometió a un análisis de componentes principales (PCA; véase, por ejemplo, Cooley y Lohnes (1971) u Orlóci (1975)) para averiguar las tendencias de variación de los datos y examinar la hipótesis de que el nivel de contaminación atmosférica es el factor fundamental responsable de las diferencias observadas en el número de especies epífitas dentro del territorio estudiado .

RESULTADOS

La distribución irregular de los 40 almendrales examinados (fig.4) refleja en gran medida la distribución del cultivo del almendro en el área de estudio. La mayor parte de las estaciones se concentran en un anillo de unos 2 km de anchura alrededor de Sabadell . En algunos sectores no se encontraron almendrales, especialmente en la esquina Norte del área (una zona bosco

Fig. 4 Distribución de las 40 estaciones (almendrales) muestreadas en el área de estudio. Los números identifican a las estaciones.



sa) y en la esquina Este (una zona de agricultura modernizada, sin cultivos arbóreos) .

La composición de la vegetación epifítica de los almendrales se presenta en la tabla 1 . En la tabla 2 figuran, para cada estación, la cuadrícula U.T.M., la altitud, la distancia al centro de Sabadell, el número de almendros que la componen, el pH de la corteza, el IAP, la riqueza epifítica total, y las coordenadas de la estación en los tres primeros componentes principales . Las correlaciones ordenadas de las especies con los tres primeros componentes están en la tabla 3 .

Las figs. 5-10 son los mapas de distribución de 6 especies en el área de estudio, ordenadas de menor a mayor poleofobia: *Buellia* gr. *punctata*, *Xanthoria parietina*, *Parmelia caperata*, *Xanthoria stenophylla*, *Parmelia perlata* y *Caloplaca ferruginea* . El mapa de los valores de abundancia-dominancia de *Physcia adscendens* se presenta en la fig.11; el mapa del pH de las cortezas, en la fig.12; el mapa del número de especies por almendral (sin *Pleurococcus viridis*), en la fig. 13 .

Las varianzas explicadas por los primeros componentes principales son : 30.6% (I), 10.5% (II) y 7.8% (III) . Se necesitan 8 componentes para explicar el 75% de la varianza de la matriz analizada .

CARACTERISTICAS GENERALES DE LA VEGETACION EPIFITICA .

En los sectores poco contaminados del área de estudio, los almendros llevan tres tipos fundamentales de vegetación epifítica :

1) Sobre corteza lisa, un *Lecanoretum laevis* Barkman 1958 empobrecido, formado por *Lecidella elaeochroma*, *Lecanora chlarotera* y *L.sienae* .

2) Sobre corteza rugosa se encuentran vegetaciones del *Xanthorion parietinae* Ochsner 1928 em. Barkman 1958, especialmente en las partes bajas y medias del área, y en la base de los troncos en las partes elevadas; estos poblamientos son muy heterogéneos, generalmente ricos

VEGETACION EPIFITICA DE LOS ALMENDRALES EN LOS ALREDEDORES DE SABADELL

[illegible]

Lecanora sp. 1	#
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

[illegible]

* # = especie utilizada en el análisis de componentes principales

* En la tabla 2 se presentan diversos datos correspondientes a las estaciones examinadas

**TABLA 2 DATOS DE LAS ESTACIONES MUESTREADAS
EN LOS ALREDEDORES DE SABADELL**

De izquierda a derecha: número de la estación, cuadrícula UTM de 10 km (zona 31 T), altitud s.n.m., distancia al centro de Sabadell, número de árboles que componen el almendral, pH de la corteza, Índice de Pureza Atmosférica (IAP), número total de especies epífitas encontradas (riqueza) y coordenadas de la estación en los tres primeros componentes principales

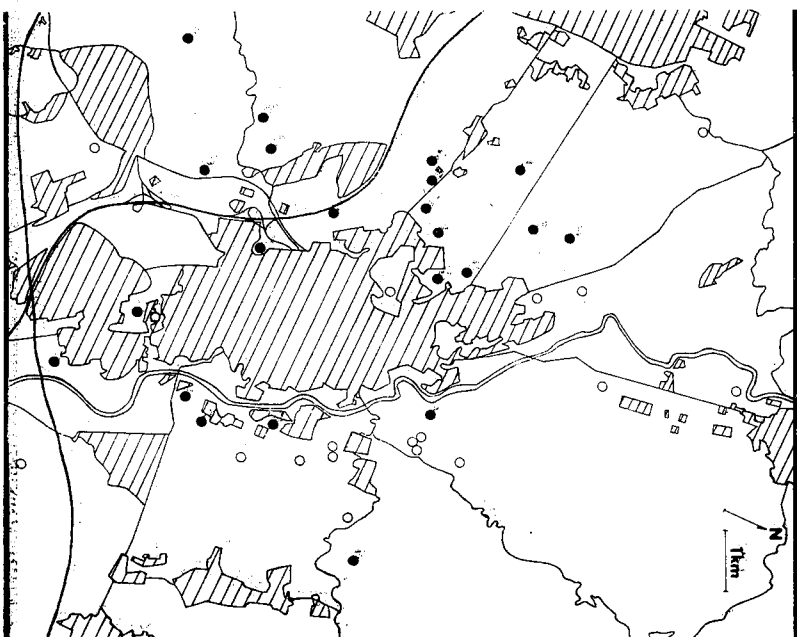
Est.	UTM	altitud m	distancia km	número de árboles	pH	IAP	riqueza	I	II	III
1	DF 29	165	2.42	500	4.3	21	8	-4.35	-0.44	-0.72
2	DF 29	170	1.93	150	4.5	2	2	-5.45	-1.33	-1.55
3	DF 29	168	2.57	40	4.8	21	9	-3.40	0.04	-0.34
4	DG 20	192	3.46	13	5.8	46	16	0.23	-3.79	-1.37
5	DG 20	200	2.37	300	5.3	22	9	-3.23	-0.54	-0.79
6	DG 20	200	2.27	300	5.6	14	9	-3.63	-0.87	-1.07
7	DG 20	167	2.43	50	4.9	31	13	-2.39	-1.37	-0.96
8	DG 20	217	2.82	55	5.3	24	13	-2.60	-1.23	-1.03
9	DG 20	205	2.86	25	5.1	100	25	5.92	-3.54	-0.02
10	DG 20	221	2.94	45	5.0	41	17	-2.08	-0.44	0.98
11	DG 20	211	3.55	200	5.5	71	24	2.28	0.40	-1.71
12	DG 20	253	3.96	80	4.7	57	21	0.35	1.91	-2.65
13	DG 20	275	4.70	50	5.1	86	26	3.29	2.17	-1.58
14	DG 10	343	7.94	12	5.6	94	30	3.40	1.06	3.57
15	DG 20	270	4.30	60	5.5	36	13	-1.54	0.61	-0.86
16	DF 29	157	1.17	8	5.2	33	11	-2.95	1.46	0.56
17	DF 29	175	2.77	17	5.0	49	20	-1.55	0.70	0.66
18	DF 29	221	3.31	6	4.4	49	18	-0.77	1.42	0.02
19	DF 29	190	1.70	30	5.0	29	13	-3.65	-0.61	0.91
20	DF 29	116	4.14	23	3.4	33	13	-2.65	0.08	0.73
21	DF 29	147	2.44	19	4.6	28	13	-2.96	-1.14	-0.51
22	DF 29	144	2.71	20	4.4	40	14	-2.31	0.23	-0.25
23	DG 20	227	1.88	40	5.3	60	19	-0.42	0.40	1.78
24	DG 20	225	1.60	10	5.0	16	8	-3.91	-0.37	-0.56
25	DG 20	217	2.65	120	5.4	88	21	2.57	-0.54	1.18
26	DG 20	227	3.11	120	5.1	56	20	-0.15	3.84	-1.64
27	DG 20	232	2.73	300	-	75	28	1.24	2.18	-1.23
28	DG 20	245	3.29	70	5.0	38	16	-2.90	0.78	1.32
29	DF 29	115	5.19	60	5.6	64	19	1.60	-4.99	1.26
30	DG 20	170	4.15	10	-	91	25	4.96	-1.62	3.70
31	DF 29	146	2.36	65	-	30	8	-2.09	-1.43	-0.51
32	DG 20	207	2.73	50	-	55	16	-1.04	1.69	0.44
33	DG 20	261	5.14	14	-	67	21	1.03	0.24	1.97
34	DG 20	284	7.31	80	-	116	32	8.39	-4.43	-2.68
35	DG 20	260	4.08	90	-	110	30	6.55	3.26	-1.00
36	DG 20	285	4.64	30	-	125	35	7.07	3.24	-1.87
37	DG 20	227	2.85	50	-	75	21	0.89	2.24	5.02
38	DF 29	165	4.37	30	-	68	21	--	--	--
39	DF 29	181	2.87	45	-	74	22	--	--	--
40	DF 29	255	4.94	10	-	85	28	--	--	--

TABLA 3 CORRELACIONES ORDENADAS DE LAS ESPECIES CON LOS
TRES PRIMEROS COMPONENTES PRINCIPALES

Las líneas de trazos limitan los coeficientes significativos ($\alpha=0.05$)

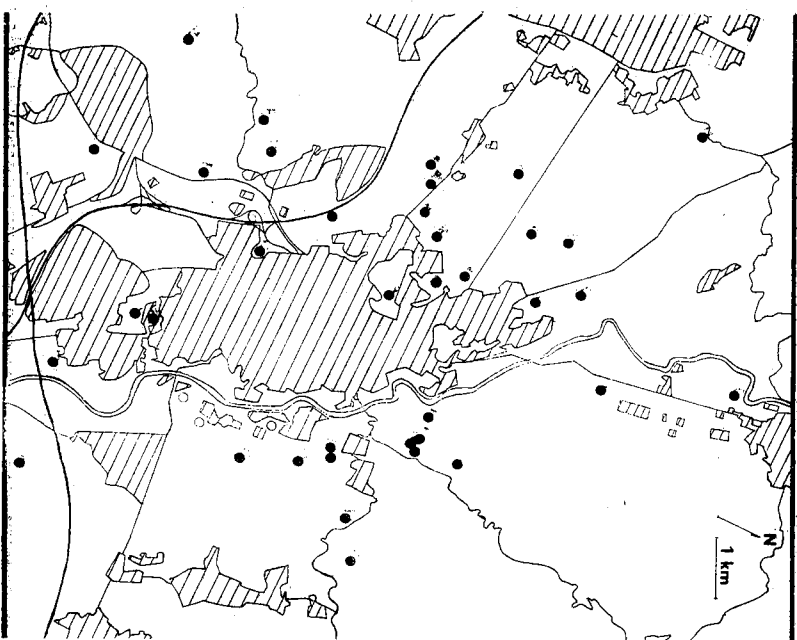
I	II	III
.83 Lecanora chlarotera	.67 Lecid. elaeochroma	.73 Orthotr. affine
.82 Physcia hirsuta	.65 Parmelia sulcata	.52 Physcia grisea
.80 Cand. xanthostigma	.55 Physciop. elaeina	.47 Physc. orbicularis
.79 Lecanora expallens	.42 Pseud. furfuracea	.44 Physciop. elaeina
.78 Parmelia caperata	.40 Calopl. vitellina	.43 Lecanora conizaea
.78 Parmelina tiliacea	.38 Lecanora conizaea	.41 Lecanora sp.1
.71 Parmel. subrudecta	.34 Lecanora expallens	.33 Calopl. aurantiaca
.69 Orthotr. diaphanum	.33 Buel. gr. punctata	.30 Lecanora sp.2
.69 Calopl. ferruginea	.33 Pertusaria sp.	.23 Lecid. elaeochroma
.67 Physcia adscendens	.32 Lecanora chlarotera	.20 Buel. gr. punctata
.66 Parmelia perlata	.31 Trentep. umbrina	.20 Lecan. chlarotera
.66 Frullania dilatata	.30 Physcia grisea	.16 Physc. adscendens
.65 Physcia clementei	.26 Frullania dilatata	.15 Hyp. cupressiforme
.62 Pertusaria sp.	.26 Physc. adscendens	.13 Physcia hirsuta
.62 Xanth. parietina	.18 Parmelia glabra	.12 Xanth. stenophylla
.62 Ramal. fastigiata	.12 Calopl. aurantiaca	.10 Ramal. fastigiata
.61 Lecanora sienae	.11 Lecanora sp.1	.09 Lecanora expallens
.60 Opegrapha sp.	.09 Calopl. ferruginea	.07 Xanth. parietina
.58 Xanth. stenophylla	.08 Orthotr. affine	.07 Parmelia perlata
.55 Trentep. umbrina	.02 Parmelia perlata	.05 Calopl. ferruginea
.48 Physcia pulverulenta	-.01 Ramal. fastigiata	.02 Cand. xanthostigma
.44 Parmelia glabra	-.12 Opegrapha sp	.01 Opegrapha sp.
.43 Lecid. elaeochroma	-.13 Parmelia caperata	-.05 Orthotr. diaphanum
.42 Physc. orbicularis	-.15 Cand. xanthostigma	-.07 Physc. pulverulenta
.39 Candelar. concolor	-.17 Lecanora sienae	-.11 Lecanora sienae
.39 Hyp. cupressiforme	-.18 Parmelina tiliacea	-.11 Candelar. concolor
.37 Physciop. elaeina	-.18 Phys. pulverulenta	-.12 Physcia clementei
.30 Parmelia sulcata	-.18 Physcia hirsuta	-.16 Parmelia caperata
.29 Lecanora conizaea	-.23 Xanth. parietina	-.17 Frullania dilatata
.28 Pseud. furfuracea	-.30 Physcia clementei	-.17 Parm. subrudecta
.28 Orthotr. affine	-.30 Parmel. subrudecta	-.19 Parmelina tiliacea
.25 Physcia grisea	-.34 Lecanora sp.2	-.26 Trentep. umbrina
.06 Calopl. vitellina	-.36 Candelar. concolor	-.32 Pertusaria sp.
.04 Lecanora sp.	-.38 Orthotr. diaphanum	-.33 Calopl. vitellina
-.12 Buel. gr. punctata	-.39 Physc. orbicularis	-.34 Pseud. furfuracea
-.20 Lecanora sp.1	-.47 Hyp. cupressiforme	-.39 Parmelia sulcata
-.21 Calopl. aurantiaca	-.49 Xanth. stenophylla	-.41 Parmelia glabra

Fig. 5 Mapa de distribución en el área de estudio de *Buellia* sp. punctata



22

Fig. 6 Mapa de distribución en el área de estudio de *Xanthoria* parietina



23

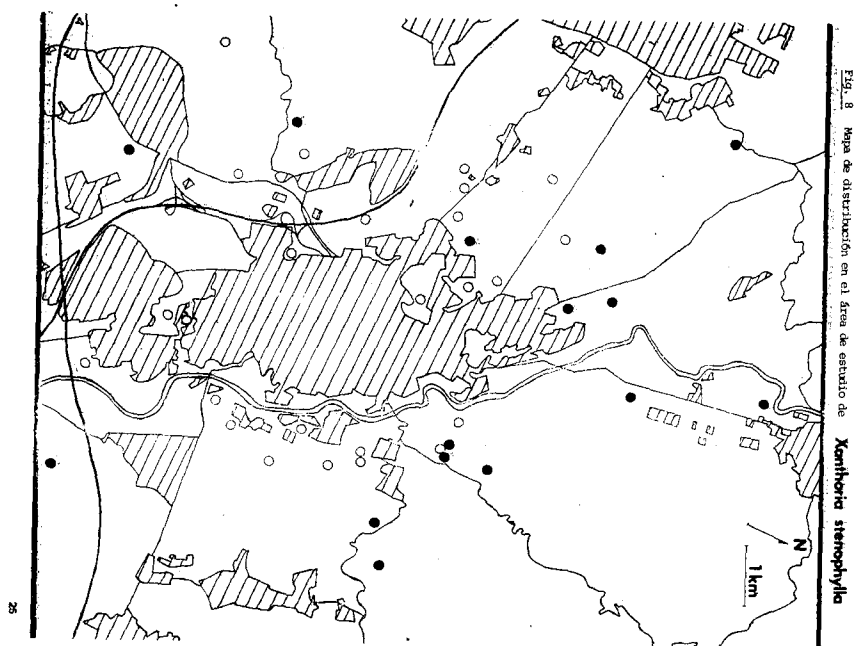
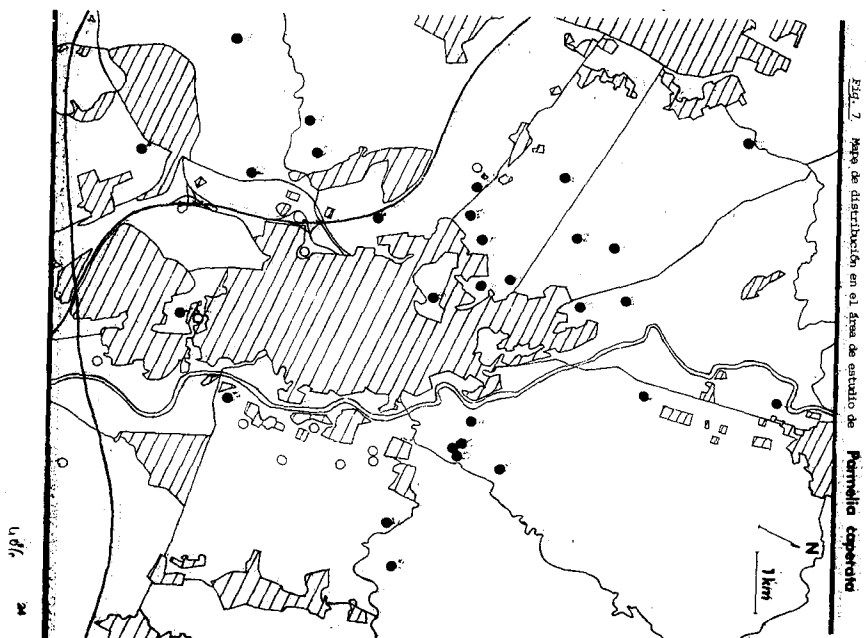


Fig. 9 Mapa de distribución en el área de estudio de *Parmelia perlata*

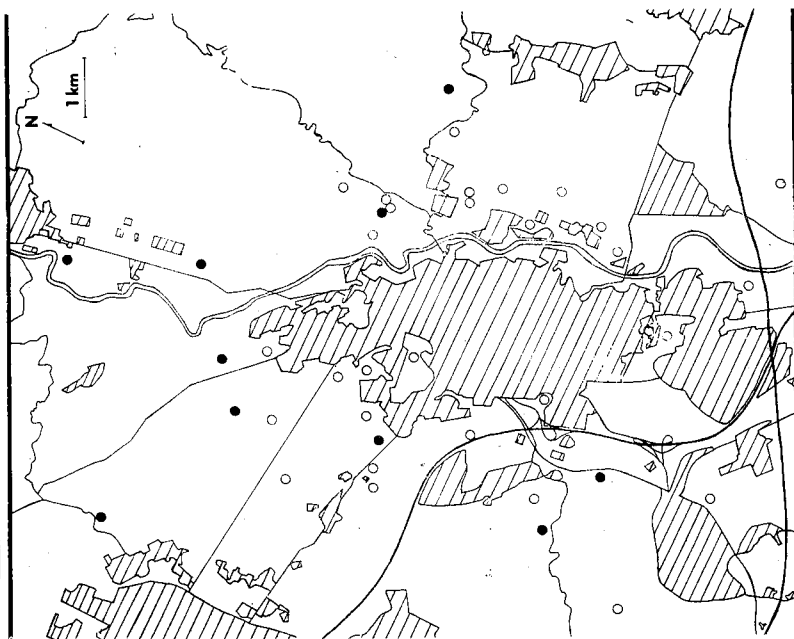


Fig. 10 Mapa de distribución en el área de estudio de *Caloplaca ferruginea*

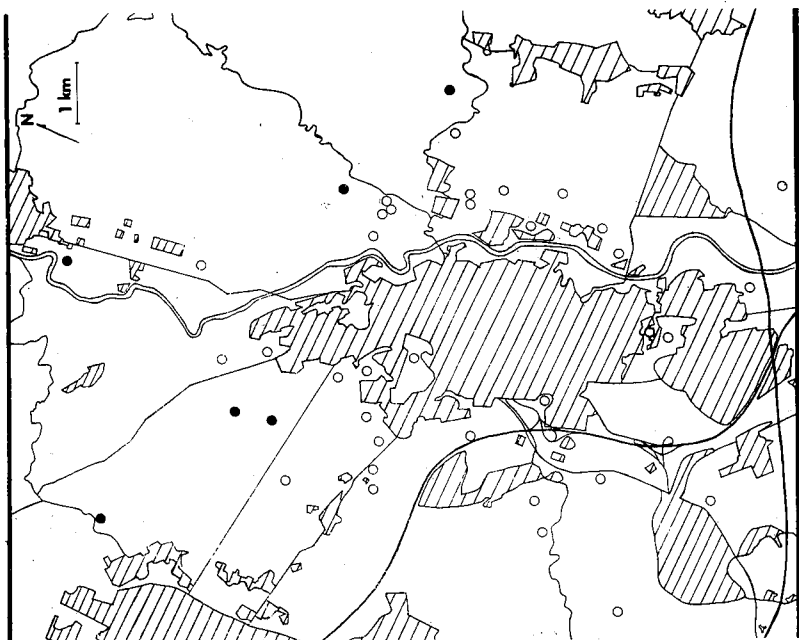


Fig. 11 Valores de abundancia-dominancia de *Physcia adnigrans* en el Área de estudio.

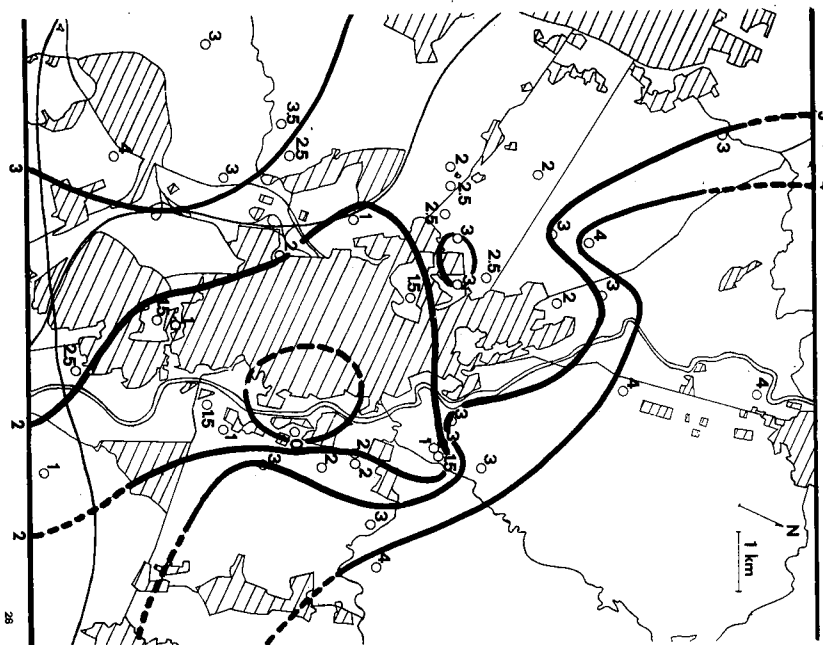
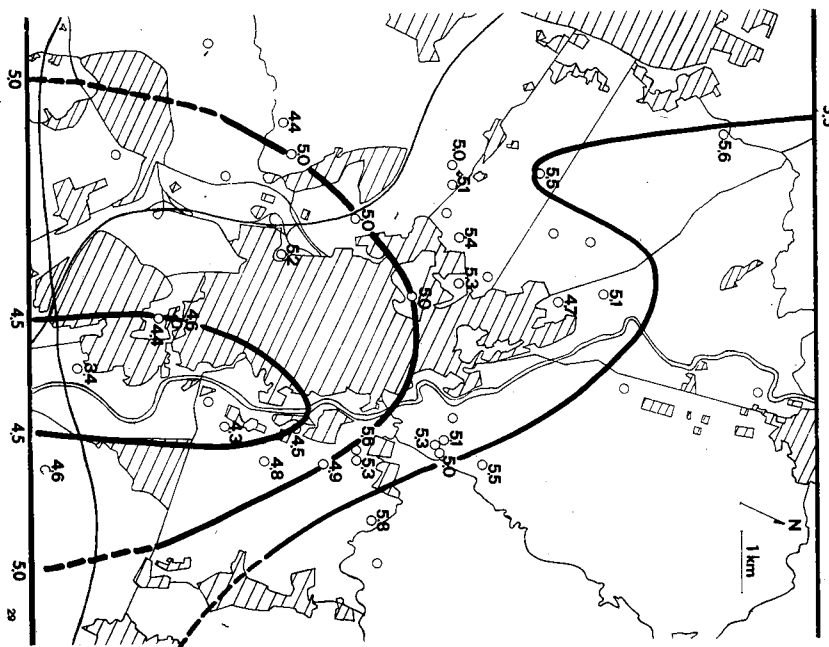
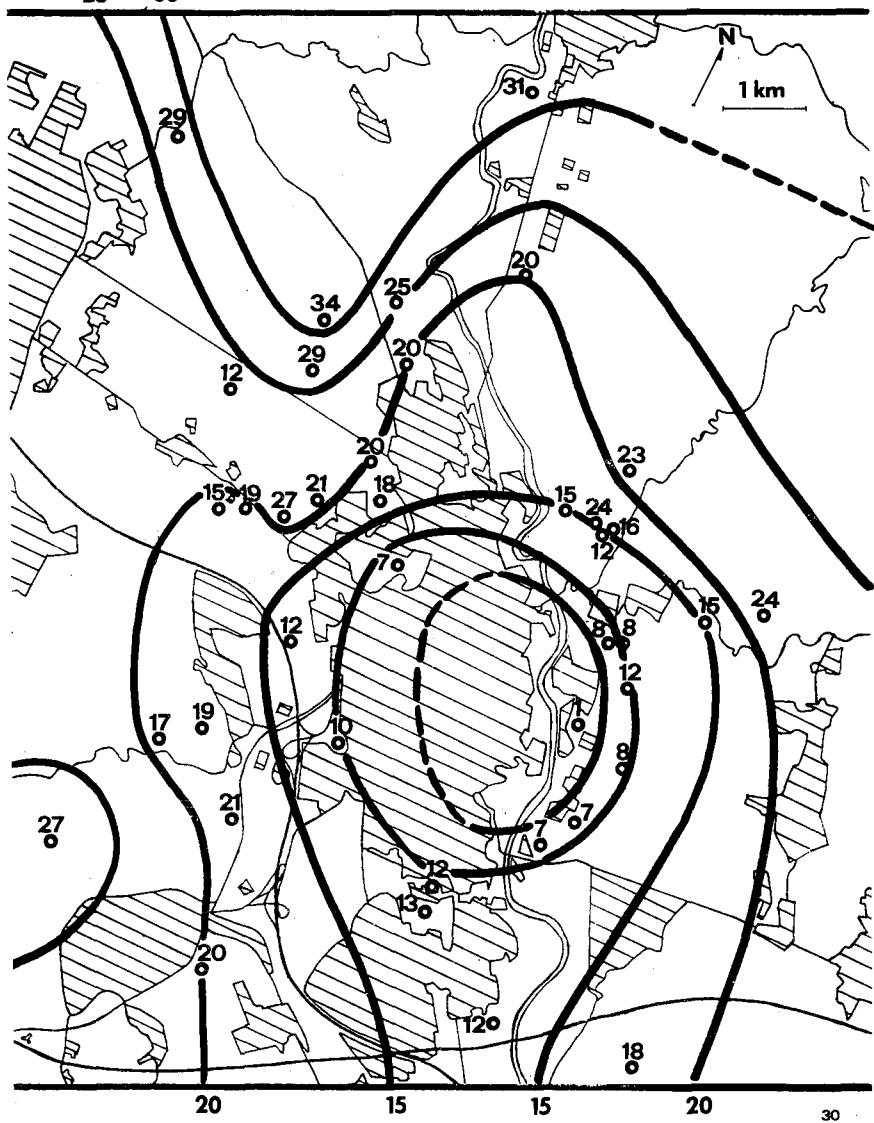


Fig. 12 Valores del pH de la corteza de albarico en el Área de estudio.



25 30



en especies y pueden estar dominados por una o más de las siguientes especies : *Physcia adscendens*, *Physciopsis elaeina*, *Physcia hirsuta*, alguna vez *Ph. orbicularis*. Son muy frecuentes *Xanthoria parietina*, *Lecidella elaeochroma* y *Candelariella xanthostigma* . Los briófitos están muy poco representados . La afinidad de esta vegetación es máxima con el *Physcietum elaeinae typicum* Barkman 1958, pero varias de sus especies características y diferenciales se encuentran en el área de estudio algo segregadas (por ejemplo, *Caloplaca ferruginea* no se presenta en este tipo de vegetación sino en el siguiente : *Physciopsis elaeina* y *Xanthoria stenophylla* tienen correlaciones opuestas con el segundo componente principal (tabla 3)) . En conjunto, el *Physcietum elaeinae typicum* no parece estar bien constituido en los al mendros del llano del Vallès Occidental; probablemente se trate de un fenómeno natural, aunque no puede descartarse la influencia de la contaminación .

3) Sobre corteza rugosa, en las partes altas del área (por encima de c. 250 m) y, en general, en las zonas menos xéricas y menos hipertrofizadas, se encuentra un *Parmelietum trichoteroscortae* Barkman 1958, bastante homogéneo, muy rico en especies y dominado por los grandes talos foliáceos de *Parmelia caperata* y *Parmelina ti* li acea . Varias especies se encuentran principal o ex clusivamente en esta vegetación : *Parmelia perlata*, *P. subrudecta*, *Pertusaria* sp., *Caloplaca ferruginea* y *Ever* nia prunastri . La importancia de los briófitos aumenta considerablemente .

Lecanora expallens es muy frecuente y abundante, tanto en el dominio del *Physcietum* como en el del *Parmelietum*, sobre todo en la cara inferior de troncos y ramas inclinados .

Es notable la presencia de dos especies, *Hypogymnia physodes* y *Pseudevernia furfuracea*, abundantísimas fuera de la región mediterránea y que en Catalunya tie nen su óptimo en los pisos montano y subalpino, encontradas en los alrededores de Sabadell a altitudes de 180-285 m. Los datos disponibles del pH de las cortezas (tabla 2) son insuficientes para interpretar estos ha llazgos como fruto de la acidificación en áreas conta minadas .

También cabe señalar la ausencia de *Anaptychia ciliaris* en los almendrales estudiados, pese a haberla en contrado en Barcelona, en 1978, sobre un almendro a 190 m s.n.m. (Castell de l'Oreneta, UTM DF 28) .

Al aumentar la contaminación atmosférica las especies epífitas se enrarecen y desaparecen progresivamente . La vegetación queda constituida por *Pleurococcus viridis* s.l., *Phycia adscendens*, *Buellia gr.punctata*, *Lecanora conizaea*, *L. expallens*, *Candelariella xanthostigma* y *Opegrapha* sp. (estaciones 1 y 31) . En casos extremos (estación 2) sólo están presentes *Pleurococcus* y *Buellia gr. punctata* .

Al acercarnos a Sabadell, el poblamiento epifítico sobre corteza lisa desaparece antes que el de corteza rugosa . No es probable que esto se deba a una mayor sensibilidad de las especies de corteza lisa puesto que *Lecidella elaeochroma* sigue habitando las cortezas rugosas en zonas cuyas cortezas lisas están despobladas . Tal vez se trate de un caso de dificultad de colonización de nuevo sustrato (cortezas lisas = jóvenes) en áreas contaminadas, fenómeno que también explicaría la restricción de muchas especies epífitas a árboles grandes en los lugares de contaminación moderada (Hawksworth *et al.*, 1973), y análogo al ejemplo clásico de *Caloplaca heppiana* sobre lápidas funerarias en los cementerios ingleses (Laundon 1967) .

El grado de recubrimiento de la corteza lisa está muy relacionado con la distancia a Sabadell y con la calidad de la vegetación epifítica total, por lo que, aunque en el presente trabajo no se evaluó sistemáticamente, podría ser un indicador sensible de contaminación. Por ejemplo, en las estaciones 1, 2, 8 y 24 (todas ellas próximas a Sabadell y con vegetaciones epifíticas muy pobres) la corteza lisa estaba despoblada, pero alcanzaba recubrimientos del 50-80% en las más alejadas y de vegetación mejor desarrollada (almendrales 8, 11, 13 y 14) .

DISCUSION

SENSIBILIDAD Y RESISTENCIA DE LAS ESPECIES

La "sensibilidad" de una especie es una propiedad heterogénea que viene influida por su fisiología frente a los contaminantes, por su comportamiento ecológico ante otros factores abióticos y por sus relaciones de competencia con otras especies . No obstante, es útil caracterizar a las especies epífitas según el grado de "sensibilidad" que manifiestan en el campo que , desde luego, puede variar considerablemente de una región a otra .

En este estudio, la sensibilidad de las especies puede deducirse a partir de las frecuencias, los CEMs, las distribuciones, y las variaciones de abundancia, aunque como los dos primeros índices se basan en la pauta de presencias y ausencias, puede decirse que se derivan también de la distribución espacial . Cuanto más sensible sea una especie, menor será su frecuencia, mayor su CEM, más periférica (poleófoba) su distribución y más acentuadas sus variaciones de abundancia .

Sólo algunas especies exhiben pautas muy claras de variación cuantitativa como respuesta a la contaminación, pues la mayoría son demasiado raras o escasas. *Phyrcia adscendens* es una de ellas . Está presente en todas las estaciones examinadas salvo una, pero dista mucho de ser insensible a la contaminación: el mapa de sus valores de abundancia-dominancia (fig.11) manifiesta un fuerte crecimiento centrífugo y nos informa de las diferencias de intensidad de la polución en el área de estudio .

Atendiendo a la frecuencia, CEM y distribución, la mayor parte de las especies de frecuencia superior a 3 pueden agruparse del modo siguiente (los grupos se disponen de menor a mayor sensibilidad; dentro de cada grupo se ordenan las especies por CEM creciente) :

1) *Buellia* gr. *punctata* y *Lecanora conizaea*: frecuencias altas (55-73%), CEMs bajos (18.5 - 19.1), distribuidas por toda el área sin evitar el sector más contaminado . Faltan a menudo en las estaciones más ricas . Especies muy resistentes, especialmente *Buellia* gr. *punctata* que alcanza recubrimientos elevadísimos en varias estaciones muy contaminadas .

2) *Physcia adscendens*, *Lecanora expallens*, *Candelaria xanthostigma*, *Xanthoria parietina* y *Lecidella elaeo chroma*: frecuencias muy altas (> 80%), CEMS bajos (18.6 - 19.3), distribuidas por toda el área excepto en algunas de las estaciones más contaminadas . Forman el núcleo de la vegetación epifítica de los almendrales de la zona . Bastante resistentes; su variación con el nivel de contaminación es fundamentalmente cuantitativa .

3) *Lecanora* sp.1 y *Caloplaca aurantiaca* : se distinguen por ser las únicas especies que tienen al mismo tiempo frecuencias bajas (22.5%) y CEMs también bajos (17.6 - 19.7) . Su distribución no es poleofoba y se concentran en el sector occidental . Deben ser bastante o moderadamente resistentes .

4) *Physciopsis elaeina*, *Lecanora sienae*, *Parmelia caperata*, *Ramalina fastigiata*, *Physcia hirsuta* y *Lecanora chlorotera*: frecuencias altas (60-70%), CEMs medios (20.5 - 22.6), exhiben una cierta poleofobia, evitando todo el sector E-SE (el más contaminado) y las estaciones muy próximas a la ciudad . Moderadamente resistentes (o moderadamente sensibles) .

5) *Physcia orbicularis* y *Trentepohlia umbrina*: frecuencias medias (42.5 - 45%), CEMs medios (19.6 - 22.0), poleofobia moderada pero mayor que en el grupo anterior. Moderadamente resistentes (o moderadamente sensibles) .

6) *Parmelia sulcata*, *Xanthoria stenophylla*, *Parmelina tiliacea*, *Parmelia subrudecta*, *Orthotrichum diaphanum* y *Pertusaria* sp.: frecuencias bajas (30 - 42.5%), CEMs altos (23.2 - 25.3), poleofobia acentuada . Indicadores de aire no demasiado contaminado . Bastante sensibles. La ausencia no explicada de *Parmelia sulcata* en varias de las estaciones ricas hace bajar su CEM más de lo que posiblemente le correspondería .

7) *Hypnum cupressiforme*, *Pseudevernia furfuracea*, *Physconia pulverulenta*, *Parmelia glabra*, *Evernia prunastri*, *Caloplaca ferruginea*, *Orthotrichum affine* y *Frullania dilatata* : frecuencias muy bajas (10-17.5%), CEMs muy altos (24.1 - 30.2), poleofobia extrema . Indicado res de aire poco o muy poco contaminado . Especies muy sensibles, aunque parte de su sensibilidad aparente pue de deberse a su mayor mesofitismo .

Otras especies se comportan de un modo intermedio : *Parmelia perlata* entre los grupos 6 y 7; *Opegrapha* sp. entre 1 y 4 . Otras no tienen una pauta caracterizable con los anteriores criterios, como *Candelaria concolor* y *Physcia clementei* . *Pleurococcus viridis* s.l. es casi indiferente a la contaminación en los alrededores de Sabadell y no presenta aquí una especial abundancia en las zonas contaminadas como sucede en tantas ciudades europeas .

Sorprende la elevada frecuencia (70%) de *Parmelia caperata* y *Ramalina fastigiata* en el área de estudio . Ambas especies son bastante sensibles en Inglaterra (Hawksworth y Rose, 1970); Hawksworth *et al.*, 1973), donde *P. caperata* no aparece en la base de los troncos hasta que la pureza del aire alcanza $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de SO_2 (un nivel moderado de contaminación), y hasta los $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ no aparece *R. fastigiata* y *P. caperata* no se extiende por el tronco. Ninguna de las dos especies consta en las listas del área urbana de Madrid (Crespo *et al.*, 1977) pese a que no escasean en la vecina Sierra de Guadarrama (Crespo, 1975) . En Sabadell, *R. fastigiata* es escasa en casi todas las estaciones, y en las zonas próximas a la ciudad está representada por muy pocos ejemplares, a veces uno sólo, que acostumbra a ser muñones malformados de menos de 1 cm de longitud . En estas condiciones, *P. caperata* presenta grandes porciones de la médula al descubierto . Esta mayor "resistencia" aparente puede deberse a que ambas especies sean menos sensibles en el área estudiada o a que los niveles medios de contaminación en las zonas rurales alrededor de Sabadell no sean realmente demasiado elevados .

En la tabla 4 se listan 15 especies de líquenes comunes a Sabadell y a Madrid (Crespo *et al.*, 1977), y se compara su sensibilidad en ambas ciudades . El estudio de Madrid se basa principalmente en acacias (*Robi-*

**TABLA 4 SENSIBILIDAD A LA CONTAMINACION DE LAS ESPECIES DE
LIQUENES COMUNES A MADRID Y A SABADELL**

Las especies se ordenan por sensibilidad decreciente en Sabadell, tomando el CEM (cortejo específico medio) como índice de sensibilidad. Se incluyen las frecuencias en 40 estaciones de cada ciudad. Se han excluido de la tabla dos especies (*Hypogymnia physodes* y *Ramalina farinacea*) presentes en Madrid pero que en Sabadell tienen frecuencia 1.

Las dos últimas columnas comparan el orden relativo de sensibilidad de estas 15 especies en Sabadell y en Madrid. Nótese que los CEMs no son directamente comparables entre ciudades, pues la riqueza media de ambas ciudades es muy distinta.

Los datos de Madrid están tomados de Crespo et al. (1977).

ESPECIES	CEM		FREC.		RANGO	
	SAB.*	MAD.	SAB.	MAD.	SAB.	MAD.
<i>Caloplaca ferruginea</i>	28.3	15.2	6	10	1	1
<i>Physconia grisea</i>	26.0	10.0	3	21	2	10
<i>Parmelia glabra</i>	25.7	14.5	6	10	3	3
<i>Pseudevernia furfuracea</i>	24.8	13.6	5	9	4	5
<i>Parmelina tiliacea</i>	22.9	11.0	17	16	5	8
<i>Candelaria concolor</i>	22.7	12.4	9	11	6	6
<i>Parmelia sulcata</i>	22.2	10.2	12	14	7	9
<i>Lecanora chlorotera</i>	21.6	8.2	25	22	8	13
<i>Lecanora sienae</i>	20.2	14.7	27	10	9	2
<i>Candelariella xanthostigma</i>	18.9	14.2	33	4	10	4
<i>Xanthoria parietina</i>	18.2	9.9	37	19	11	11
<i>Lecanora conizaea</i>	18.1	7.0	29	19	12	15
<i>Physcia adscendens</i>	17.6	12.2	32	14	13	7
<i>Buellia gr. punctata</i>	17.5	8.8	22	21	14	12
<i>Pleurococcus viridis</i> s.l.	17.1	7.1	39	40	15	14

* Se ha restado una unidad a los CEMs de Sabadell para unificar el método de cálculo en ambos estudios.

nia pseudoacacia) y chopos (*Populus* spp.) de áreas urbanas. El CEM de una especie no es directamente comparable en las dos ciudades, pues la riqueza media de las estaciones es muy superior en Sabadell (18.2 especies) que en Madrid (8.2 especies). Sin embargo, pueden compararse las sensibilidades relativas dentro del grupo de especies comunes.

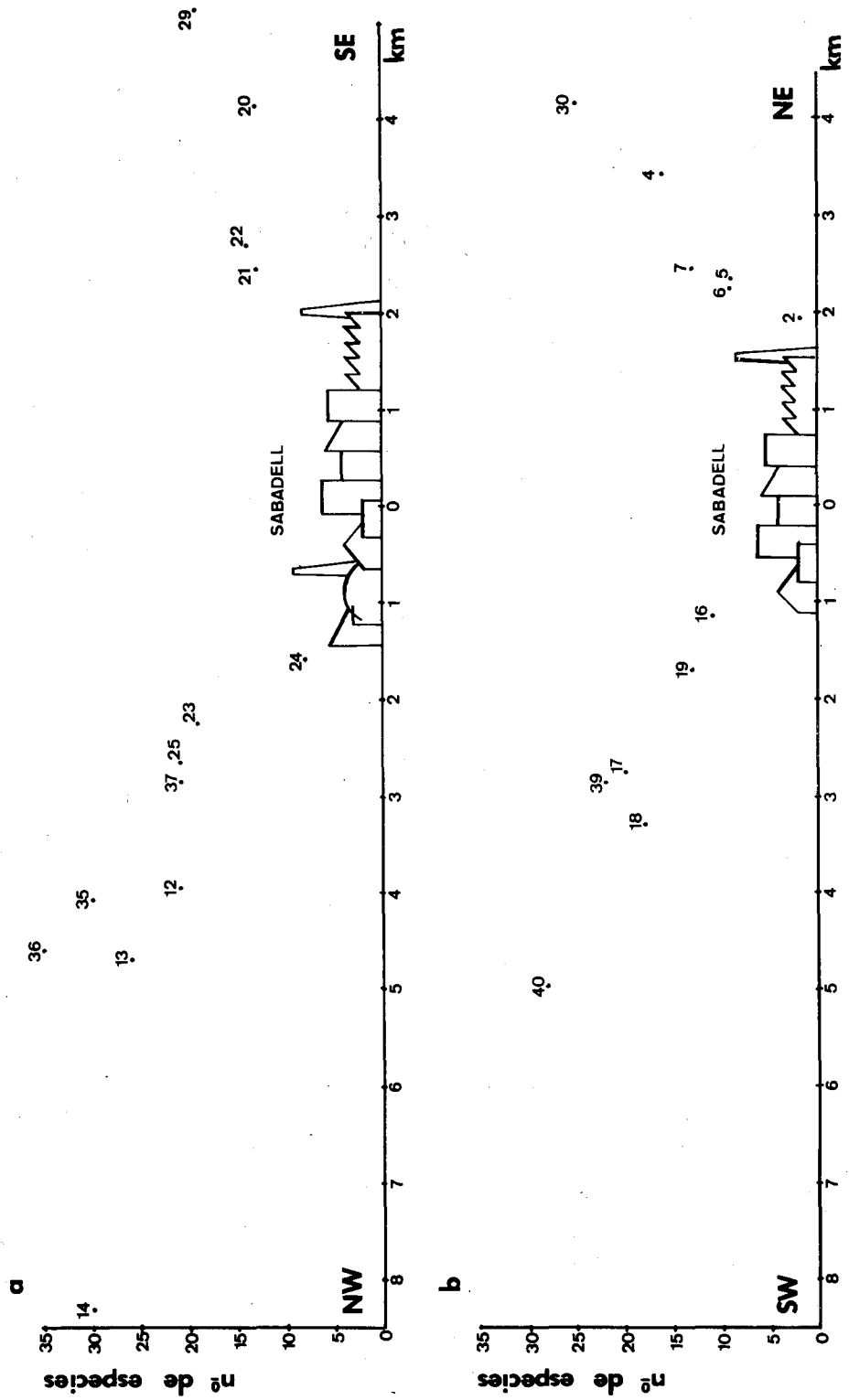
El comportamiento general de las especies frente a la contaminación es parecido en Sabadell y en Madrid. El coeficiente de concordancia de Kendall (Snedecor y Cochran, 1967) aplicado al rango de las especies según su CEM es $W = 0.79$ ($p \approx 0.076$). En ambos estudios *Caloplaca ferruginea* es la especie más sensible de las especies compartidas. *Pleurococcus viridis* s.l., *Buellia* gr. *punctata* y *Lecanora conizaea* figuran entre las cuatro especies más resistentes de cada ciudad. Las diferencias más notables son: *Physcia adscendens*, *Candelariella xanthostigma* y *Lecanora sienae* (bastante más sensible en Madrid que en Sabadell), y *Lecanora chlorotera* y *Physconia grisea* (bastante más resistentes en Madrid que en Sabadell).

En los alrededores de Sabadell, el CEM promedio de los briófitos (28.8) es significativamente mayor ($p < 0.001$) que el de los líquenes (22.5), pero es incierto en qué medida esto refleja su mayor sensibilidad a la contaminación o su mayor mesofitismo, tomados como grupo.

RIQUEZA EN ESPECIES Y CONTAMINACION

El número de especies epífitas por almendral (fig.13, sin *Pleurococcus viridis* s.l.) aumenta fuertemente al alejarnos de Sabadell. Este efecto se aprecia también en la fig.14, en la que se representa la riqueza epifítica total a lo largo de dos transectos a través del centro de Sabadell. Las tasas de empobrecimiento al aproximarnos al casco urbano varían entre 4-11 especies/km según la dirección y el segmento de los transectos que consideremos. Esta cifra puede compararse con la de 2.3 especies/km obtenida para Newcastle upon Tyne con los datos de Gilbert (1974, p.446) referidos a líquenes epífitos sobre *Fraxinus* entre 6.5-16 km del centro de la ciudad.

Fig. 14 Número total de especies epífitas por estación a lo largo de dos transectos que pasan por el centro de Sabadell.
 Los números identifican a las estaciones.



En las figs. 13 y 14 se nota una fuerte asimetría: el sector NW es mucho más rico que el SE . Tres factores pueden contribuir a ello: el sector SE está fuertemente industrializado mientras que el NW es residencial; la altitud disminuye de NW a SE siguiendo el río Ripoll (cf. fig. 1); y los vientos predominantes so plan del cuarto cuadrante en otoño-invierno, por lo que el sector SE queda a sotavento de los focos de contaminación durante la época del año en que los niveles de polución son más elevados y en que la mayor humedad am biental favorece la actividad de los epífitos .

Las isopletas de la fig. 13 ponen de manifiesto algunos puntos de interés . La forma algo elíptica de las isopletas de 5 y 10 especies sigue aproximadamente la configuración del casco urbano, pero están centradas algo más al Este, en las proximidades del río Ripoll , presumiblemente una de las zonas más contaminadas del área por la aglomeración de grandes fábricas, algunas de las cuales queman carbón .

La profunda concavidad de las isopletas de 25 y 30 especies en el extremo NW de Sabadell se extiende por una gran zona rural aún intacta . La deflexión que sufren estas mismas isopletas en la esquina W del área puede muy bien deberse a la proximidad de Terrassa, aun que la falta de estaciones en sus alrededores impide a segurarlos .

INTERPRETACION DE LA VARIACION DE LA RIQUEZA EPIFITICA EN EL AREA DE ESTUDIO .

La variación observada en el número de especies por almendral no queda explicada por las diferencias de frecuentación humana (que tiende a empobrecer la vegetación al deteriorar las cortezas) ni por las diferen cias en el número de árboles del almendral (que tiende a enriquecerla, siguiendo la relación especies-área) .

Las diferencias de altitud pueden explicar una parte de la variación de la riqueza, pues las especies de talante más mesofítico (*Parmelia* spp., *Evernia pru nastri*, *Teloschistes chrysophthalmus*, etc. además de los briófitos) se ven favorecidas al atenuarse el déficit

hídrico . La correlación de la altitud con la riqueza es $r = 0.60$ ($p < 0.001$), pero gran parte de este efecto no lo ejerce la altitud *per se* (es decir, a través de los cambios ambientales asociados en zonas no contaminadas al aumento de elevación) sino a través de su correlación negativa con el grado de contaminación . En el área de estudio, esta correlación procede de tres fuentes:

1) La contaminación disminuye generalmente con la alttura, debido a que los contaminantes se emiten cerca del suelo (en el área estudiada no hay chimeneas de gran altura), y a la dilución producida por la circulación atmosférica .

2) La altitud está positivamente correlacionada con la distancia al centro de Sabadell ($r = 0.55$, $p < 0.001$) y, por lo tanto, negativamente con la contaminación .

3) La altitud está correlacionada negativamente con la industrialización por la tendencia de las industrias a establecerse en las zonas bajas .

La correlación de la riqueza con la distancia al centro de Sabadell (tomada ésta como índice, muy imperfecto, del grado de contaminación) es $r = 0.67$ ($p < 0.001$). Altitud y distancia están pues similarmente correlacionadas con la riqueza (el test de significación de Fisher no es aplicable aquí pues los coeficientes no se han obtenido de modo independiente) . Discriminar entre los efectos de una y otra variable es difícil dado que ambas están moderadamente correlacionadas entre sí, pero una regresión múltiple puede ayudarnos . Por mínimos cuadrados se obtiene :

$$\hat{S} = 2.672 D + 0.051 A - 1.511$$

donde, \hat{S} es la riqueza de la estación estimada por la regresión.

D es la distancia al centro de Sabadell, en km.

A es la altitud s.n.m. en m.

El coeficiente de correlación múltiple es $r = 0.75$

Por consiguiente, cada km de alejamiento de Sa badell añade en promedio 2.7 especies a la riqueza de los almendrales, y cada 100 m de ascenso en altitud a

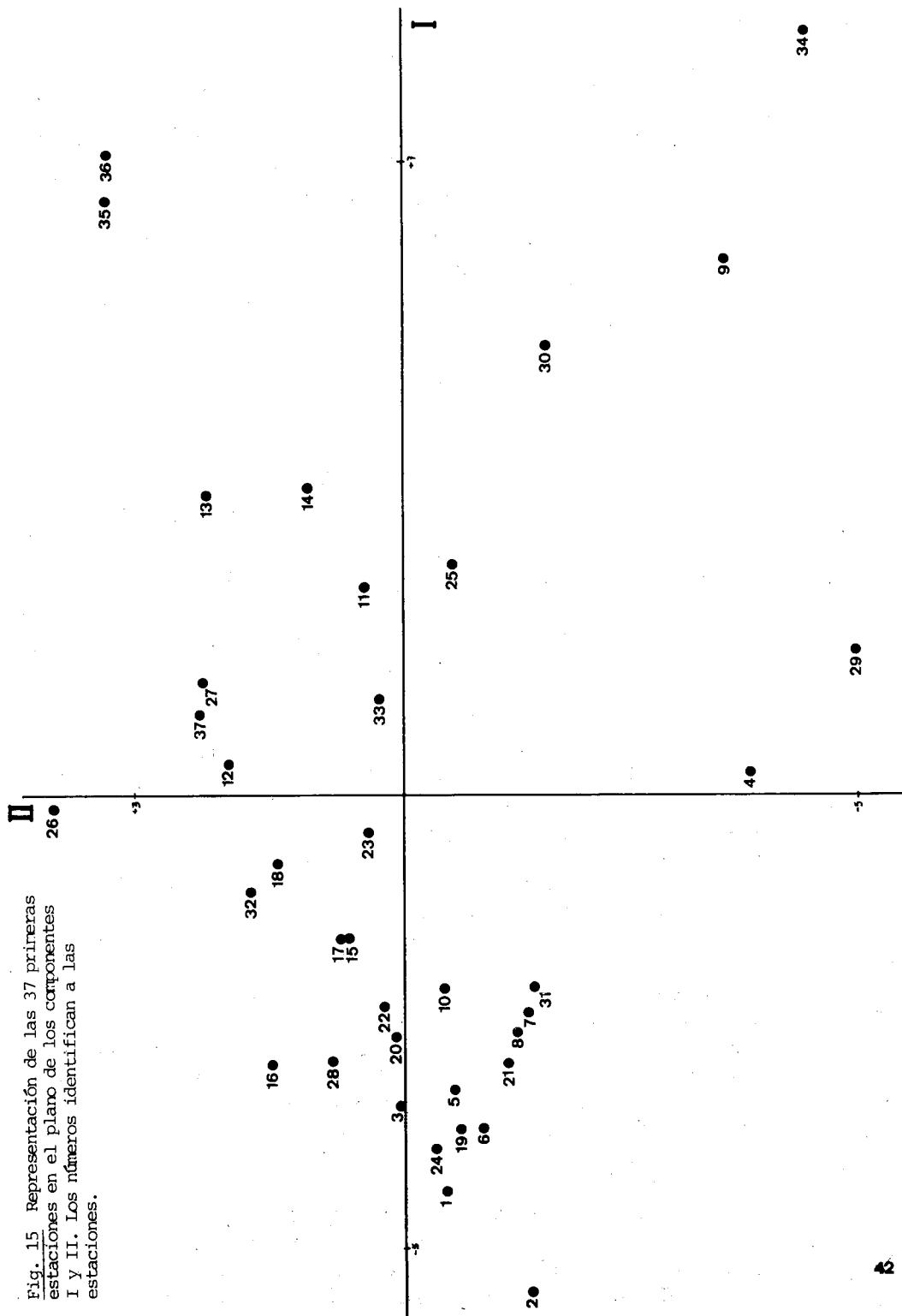
ñaden 5.1 especies . Ahora bien, si tomamos l° como valor medio de la pendiente en la dirección del gradiente de altitud (valor obtenido entre las dos estaciones de altitud extrema), 100 m de altitud corresponden a 5.7 km de recorrido longitudinal, por lo que cada km horizontal recorrido en dirección del gradiente de altitud añade $5.1/5.7 = 0.9$ especies . Vemos que el efecto de la distancia sobre la riqueza es, en el espacio, el triple que el de la altitud, por lo que un mapa del número de especies responderá principalmente al grado de contaminación .

El análisis de componentes principales apoya la interpretación anterior . El primer componente (tablas 2 y 3, fig. 15) se interpreta fácilmente como un componente de tamaño (*size factor*; Sneath y Sokal, 1973, p. 173) ya que la mayor parte de sus correlaciones con las especies son positivas y su correlación con el tamaño de los vectores es $r = 0.93$ (el tamaño del vector j se define como $\sum_1^2 x_{ij}^2$, donde x_{ij} son las abundancias-dominancias de las especies en el almendral j -simo). El primer componente está también muy correlacionado con la riqueza ($r = 0.92$) y con el IAP ($r = 0.95$) y moderadamente con la distancia al centro de Sabadell ($r = 0.66$) y menos con la altitud ($r = 0.49$, $p < 0.001$) . Todo ello indica que el primer componente es el propio gradiente de contaminación . Tiene significado ecológico, aunque no estadístico, que el primer componente tenga una correlación mayor con el IAP que con el tamaño, puesto que el IAP tiene en cuenta no sólo las cantidades presentes de las distintas especies sino que las pondera según su sensibilidad a la contaminación .

Es sugerente la interpretación dinámica de la forma en punta de flecha de la nube de puntos de la fig. 15: partiendo de dos tipos de vegetación distintos (representados por los almendrales 35-36 y 34), al intensificarse un factor adverso (o sea, recorriendo el primer eje de derecha a izquierda = aumentando la contaminación) se produce una regresión de carácter convergente .

Los componentes principales II y III no han podido ser identificados con ningún factor ecológico . Su interpretación florística se deriva de las correlaciones de la tabla 3 . Los grupos de especies que se dedu

Fig. 15 Representación de las 37 primeras estaciones en el plano de los componentes I y II. Los números identifican a las estaciones.



cen de esta tabla son harto heterogéneos y no parecen tener un significado claro . Obtenemos una imagen más coherente mirando la nube de puntos en el plano de am bos componentes (fig.16) . La mayor parte de las esta ciones forman un grupo indiferenciado alrededor del ori gen de coordenadas, pero las estaciones más ricas ocu pan posiciones periféricas por todo el plano : los com ponentes II y III discriminan los almendrales más ricos según sean las especies presentes en ellos . de todos modos, conviene recordar que estos almendrales llevan vegetaciones muy similares (cf. tabla 1) . Por ejemplo, la similitud entre las estaciones 34 y 35 (completamente separadas por el eje II) es del 78.4% (índice de Sø rensen cualitativo), y entre las estaciones 12 y 37 completamente separadas por el eje III) es del 68.4% . Sea cual fuere el significado de la dispersión de las estaciones en el plano II-III, representa variaciones muy pequeñas de la vegetación epifítica del área de es tudio .

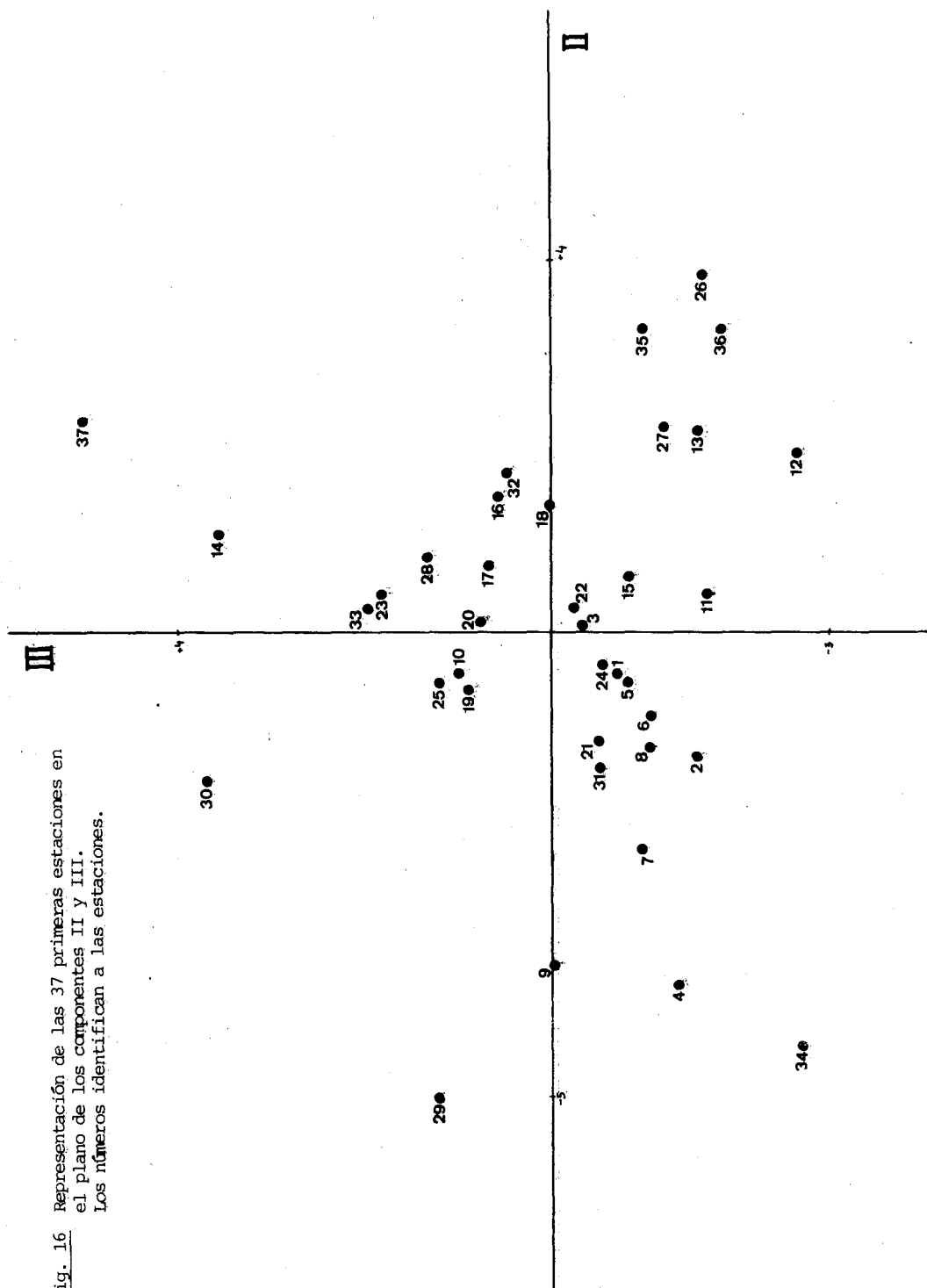
EL INDICE DE PUREZA ATMOSFERICA

Los valores del IAP de cada almendral pueden verse en la tabla 1 . El IAP varía entre 2 y 125 con una media de 55.6 . En el área urbana de Madrid (Crespo *et al.*, 1977) el IAP oscila entre 2.8 y 52.3, con una media de 15.0 .

Aunque el cálculo del índice es ligeramente distinto en ambos estudios, la diferencia entre las medias del IAP refleja nítidamente las diferencias en el nivel de contaminación de los alrededores de Sabadell y del casco urbano de Madrid .

En Sabadell, la correlación del IAP con la riqueza es $r = 0.96$, por lo que un mapa de los valores del IAP tiene prácticamente el mismo aspecto que la fig. 13 .

Fig. 16 Representación de las 37 primeras estaciones en el plano de los componentes II y III.
Los números identifican a las estaciones.



CONCLUSIONES

En los alrededores de Sabadell, el almendro (*Prunus dulcis* (Miller) D.A. Webb) es el único árbol a decuado para valorar la contaminación atmosférica uti lizando como indicadoras las criptógamas epífitas .

En el área de estudio, las restantes especies ar bóreas autóctonas e introducidas llevan por lo general una vegetación epifítica muy pobre o nula .

Este hecho es preocupante dada la regresión de la agricultura en general, y de los cultivos arbóreos en especial, debida a la creciente urbanización e indus trialización de toda la zona . La reducción del cultivo del almendro puede suponer (1) el enrarecimiento o extinción local de muchas especies epífitas y (2) dificul tades crecientes para el uso futuro de los epífitos co mo monitores de la contaminación del aire en los alre dedores de Sabadell .

Los campos de almendros han revelado ser muy ú tiles como estaciones de muestreo ya que son muy homo géneos y están formados habitualmente por gran número de árboles . Conviene sin embargo prescindir de los almen drales en que todos o la gran mayoría de los almendros son excesivamente jóvenes, pues la vegetación epifítica será en ellos muy pobre sin demasiada relación con la contaminación .

Del reconocimiento intensivo del área de estu dio y la toma de datos en 40 almendrales se deduce que el desarrollo de la vegetación epifítica aumenta muy rá pidamente con la distancia a Sabadell .

Diversos índices de la calidad de la flora y la vegetación epifíticas varían de un modo esencialmente similar entre sí y expresan con claridad este enrique cimiento centrífugo .

Entre dichos índices pueden citarse: la abundan cia de algunas especies, la suma de los valores de abun dancia de todas las especies de cada estación, el tama ño y la morbilidad de muchos líquenes, el recubrimiento de las cortezas lisas, el grado con el que los epífitos

se restringen a la base de los troncos, los mapas de distribución de las especies en el área de estudio, el número de especies epífitas por almendral, y el Índice de Pureza Atmosférica .

El número de especies o riqueza florística ofrece ciertas ventajas: es una propiedad global de la vegetación, no demasiado difícil de evaluar, y se determina independientemente para cada estación .

La pauta de variación de la riqueza epifítica con la distancia a Sabadell no es isotrópica sino que (1) la distribución de las actividades industriales, (2) la topografía y (3) los vientos dominantes de otoño-invierno interactúan de modo que el sector N-NW del área de estudio es mucho más rico que el sector S-SE .

En la zona investigada, el número de especies epífitas tiende a aumentar con la altitud, pero parte de este efecto se debe a la correlación negativa entre altitud e industrialización .

Las observaciones de campo, la variación de la riqueza a lo largo de un transecto SW-NE a través de Sabadell, la regresión múltiple, y el análisis de componentes principales testifican que el efecto de la altitud sobre la riqueza epifítica es mucho más pequeño que el efecto del alejamiento de Sabadell .

El primer componente principal (31% de varianza "explicada") se interpreta como un componente de tamaño (*size factor*) y de calidad de la vegetación epifítica, lo cual permite afirmar que la principal tendencia de variación de la vegetación epifítica en el área de estudio viene impuesta por el gradiente de contaminación.

En consecuencia, el número de especies epífitas de una estación responde principalmente al nivel de contaminación en ella existente, y el mapa de la riqueza epifítica puede tomarse como mapa de contaminación atmosférica de los alrededores de Sabadell .

Ante la falta de datos sobre las concentraciones de dióxido de azufre y otros contaminantes en el área de estudio, este mapa puede ser útil para los trabajos de ordenación territorial .

RESUMEN

Se estudia la vegetación epifítica (algas, líquenes y briófitos) en 40 campos de almendros (*Prunus dulcis*) de los alrededores de Sabadell (Catalunya), con la finalidad de valorar el grado de contaminación atmosférica. El número de especies aumenta fuertemente al alejarnos de la ciudad hasta alcanzar valores de más de 30 spp. por estación. Los valores mínimos coinciden con áreas de fuerte industrialización. Cartografiando el número de especies epífitas se obtiene un mapa que muestra los niveles de contaminación en las distintas partes del área estudiada.

El análisis de componentes principales indica que la tendencia fundamental de variación de la vegetación epifítica viene determinada por el gradiente de contaminación. Además del número de especies, demuestran ser buenos indicadores de polución: el grado de recubrimiento líquénico de la corteza lisa, la abundancia de *Physcia adscendens* y el pH de la corteza (que varía de 3.4 a 5.8).

Los líquenes más resistentes son *Buellia* gr.*punctata*, *Lecanora conizaeoides* y *Physcia adscendens*, y los más sensibles, *Caloplaca ferruginea*, *Parmelia glabra* y *Physconia grisea*. En general, los resultados concuerdan con los obtenidos en el área urbana de Madrid por Crespo *et al.* (1977).

SUMMARY

A field survey of epiphytic vegetation (algae, - lichens and bryophytes) in almond orchards was conducted in the countryside around the industrial city of Sabadell (Catalonia) aimed to assess air pollution levels and patterns in the area . Species richness rises steeply with distance from the city, finally levelling off at more than 30 spp. per orchard in the richest zone . Mapping species number gives a contour map which could be useful as an air pollution map of the study area .

Principal components analysis strongly suggests that the main trend in the variation of epiphytic vegetation is imposed by the pollution gradient . Besides species number, lichen cover on smooth bark, abundance of *Physcia adscendens*, and bark pH prove to be fine biological indicators of air pollution .

The most resistant lichens are *Buellia* gr. *punctata*, *Lecanora conizaea* and *Physcia adscendens*, and the most sensitive, *Caloplaca ferruginea*, *Parmelia glabra* and *Physconia grisea* . *Parmelia caperata* and *Ramalina fastigiata* are rather more resistant around Sabadell than what they seem to be in England . Results are by and large consistent with those from urban areas in Madrid (Crespo *et al.* 1977) .

BIBLIOGRAFIA

- AHMADJIAN, V. y HALE, M.E. (eds.), 1973.- *The Lichens*. 697 pp, Academic Press, London .
- ARCHIVO METEOROLOGICO MUNICIPAL DE SABADELL, 1978.- Datos referentes al año 1977 . Año XXXII. 11 pp.
- BADDELEY, M.S., FERRY, B.W. y FINEGAN, E.J., 1971.- A new method of measuring lichen respiration: Response of selected species to temperature, pH and sulphur dioxide . *Lichenologist* 5:18-25.
- BADDELEY, M.S., FERRY, B.W. y FINEGAN, E.J., 1972.- The effects of sulphur dioxide on lichen respiration. *Lichenologist* 5:283-291.
- BARKMAN, J.J., 1958.- *Phytosociology and Ecology of Cryptogamic Epiphytes* . 628 pp, Van Gorcum, Assen .
- COOLEY, W.W. y LOHNES, P.R., 1971.- *Multivariate Data Analysis* . 364 pp, Wiley, New York .
- CRESPO, A., 1975.- Vegetación liquénica epífita de los pisos mediterráneo de meseta y montano ibero-atlántico de la Sierra de Guadarrama. *Anal. Inst. Bot. Cavanilles* 32:185-197 .
- CRESPO, A., MANRIQUE, E., BARRENO, E. y SERIÑA, E., 1977.- Valoración de la contaminación atmosférica del área urbana de Madrid mediante bioindicadores (líquenes epífitos) . *Anal. Inst. Bot. Cavanilles* 34: 71-94 .
- DOBSON, F.S. y HAWKSWORTH, D.L., 1976.- *Parmelia pastillifera* (Harm.) Schub. & Klem and *P. tiliacea* (Hoffm.) Ach. in the British Isles . *Lichenologist* 8:47-59 .
- FERRY, B.W., BADDELEY, M.S. y HAWKSWORTH, D.L., 1973.- *Air Pollution and Lichens* . 389 pp, The Athlone Press, London .
- GILBERT, O.L., 1971.- The effect of airborne fluorides on lichens. *Lichenologist* 5:26-32 .
- GILBERT, O.L., 1974 {"1973"}.- Lichens and air pollution. pp 443-472 in V. Ahmadjian y M.E. Hale (eds.) *The Lichens*, 697 pp, Academic Press, London .
- HALE, M.E., 1976.- A monograph of the lichen genus *Parmelina* (Hale) (Parmeliaceae). *Smithson contr. Bot.* 33:1-60 .
- HAWKSWORTH, D.L., 1971.- Lichens as litmus for air pollution : A historical review . *Int. J. Environ. Studies* 1:281-296 .
- HAWKSWORTH, D.L., 1974-78.- Literature on air pollution and Lichens . I-VIII. *Lichenologist* 6:122-125; 7:62-66, 173-177; 8:87-91, 179-182; 9:77-82, 147-151; 10:95-100 .
- HAWKSWORTH, D.L. y HENDERSON, A., 1978.- Literature on air pollution and lichens . IX. *Lichenologist* 10:227-230 .

- HAWKSWORTH, D.L. y ROSE, F., 1970.- Qualitative scale for estimating sulfur dioxide air pollution in England and Wales using epiphytic lichens . *Nature (London)* 227:145-148.
- HAWKSWORTH, D.L. y ROSE, F., 1976.- *Lichens as Pollution Monitors*. 59 pp, Studies in Biology nº 66. Edward Arnold, London .
- HAWKSWORTH, D.L., ROSE, F. y COPPINS, B.J. 1973.- Changes in the Lichen Flora of England and Wales Attributable to Pollution of the Air by Sulphur Dioxide . pp 330-367 in B.W.Ferry, M.S. Baddeley y D.L. Hawksworth (eds.) *Air Pollution and Lichens*, The Athlone Press, London .
- JAMES, P.W., 1965.- A new check-list of British lichens . *Lichenologist* 3:95-153 .
- JAMES, P.W., 1966.- A new check-list of British lichens: Additions and corrections . I. *Lichenologist* 3:242-7 .
- LAUNDON, J.R., 1967.- A study of the lichen flora of London . *Lichenologist* 3:277-327 .
- LEBLANC, F., COMEAU, G. y RAO, D.N., 1971.- Fluoride injury symptoms in epiphytic lichens and mosses . *Can.J.Bot.* 49:1691-1698
- LEBLANC, F. y DE SLOOVER, J., 1970.- Relation between industrialization and the distribution and growth of epiphytic lichens and mosses in Montreal . *Can.J.Bot.* 48:1485-1496 .
- LEBLANC, F. y RAO, D.N., 1973a.- Effects of sulfur dioxide on lichen and moss transplants . *Ecology* 54:612-617.
- LEBLANC, F. y RAO, D.N., 1973b.- Evaluation of the pollution and drought hypotheses in relation to lichens and briophytes in urban environments . *Bryologist* 76:1-19 .
- LEBLANC, F. y RAO, D.N., 1974.- A review of the literature on Bryophytes with respect to air pollution . *Soc.bot.Fr., Coll. Bryologie* 121:237-255 .
- MAPA GEOLOGICO DE ESPAÑA E. 1:50.000, 1975.- Sabadell . Hoja 392 36-15 . Instituto Geológico y Minero de España, Ministerio de Industria, Madrid .
- NASH, T.H., 1971.- Lichen sensitivity to hydrogen fluoride. *Bull Torrey bot.Club* 98:103-106 .
- NIEBOER, E., AHMED, H.M., PUCKETT, K.J. y RICHARDSON, D.H.S., 1972. Heavy metal content of lichens in relation to distance from a nickel smelter in Sudbury, Ontario . *Lichenologist* 5:292-304.
- ORLÓCI, L., 1975.- *Multivariate Analysis in Vegetation Research* . 276 pp, W.Junk, La Haya .
- OZENDA, P. y CLAUZADE, G., 1970.- *Les Lichens: Etude biologique et flore illustrée* . 801 pp, Masson, Paris .
- PUCKETT, K.J., NIEBOER, E., FLORA, W.P. y RICHARDSON, D.H.S. 1973.- Sulphur dioxide: Its effect on photosynthetic ^{14}C -fixation in lichens and suggested mechanisms of phytotoxicity . *New Phytol.* 72:141-154 .

- PUCKETT, K.J., RICHARDSON, D.H.S., FLORA, W.P. y NIEBOER, E. 1974. Photosynthetic ^{14}C -fixation by the lichen *Umbilicaria Muhlenbergii* (Ach.) Tuck. following short exposures to aqueous sulphur dioxide. *New Phytol.* 73:1183-1192.
- SEAWARD, M.R.D., 1974.- Some observation on heavy metal toxicity and tolerance in lichens. *Lichenologist* 6:158-164.
- SHOWMAN, R.E., 1972.- Residual effects of sulfur dioxide on the net photosynthetic and respiratory rates of lichen thalli and cultured lichen symbionts. *Bryologist* 75:335-341.
- SNEATH, P.H. y SOKAL, R.R., 1973.- *Numerical Taxonomy*. 573 pp, W. H. Freeman, San Francisco.
- SNEDECOR, G.W. y COCHRAN, W.G. 1967: *Statistical Methods*. 593 pp, The Iowa State University Press, Ames.

APENDICE

Se lista la nomenclatura completa y algunas sinonimias útiles de las especies de la tabla 1. La nomenclatura de los líquenes sigue a James (1965, 1966) y a Ozenda y Clauzade (1970), con algunas actualizaciones.

Trentepohlia umbrina (Kütz.) Born.

Buellia punctata (Hoffm.) Massal.

Caloplaca aurantiaca (Lightf.) Th. Fr.

Caloplaca ferruginea (Huds.) Th. Fr.

Candelaria concolor (Dicks.) Stein.

Candelariella xanthostigma (Ach.) Lett.

Evernia prunastri (L.) Ach.

Hypogymnia physodes (L.) Nyl.

Lecanora chlarotera Nyl.

Lecanora conizaea (Ach.) Nyl.

Lecanora expallens Ach.

Lecanora sienae B. de Lesd. (= *Lecanora laevis* Poelt)

Lecidella elaeochroma (Ach.) Ach. (= *Lecidea parasema* (Ach.) Ach. var. *elaeochroma* Ach. = *Lecidea olivacea* (Hoffm.) Massal.)

Lepraria candelaris (L.) Fr.

Parmelia caperata (L.) Ach.

Parmelia glabra (Schaer.) Nyl.

Parmelia perlata (Huds.) Ach. (*Parmelia trichotera* Hue)

Parmelia subrudecta Nyl. (*Parmelia dubia* (Wulf.) Schaer.)

Parmelia sulcata T. Tayl.

Parmelina tiliacea (Hoffm.) Hale (= *Parmelia tiliacea* (Hoffm.) Ach. non Ach., = *Parmelia scortea* (Ach.) Ach.)¹

Physcia adscendens (Th. Fr.) Oliv. em. Bitt. (= *Physcia ascendens* auct.)

Physcia clementei (Sm.) Maas Geest.

Physcia hirsuta Mereschk. (= *Physcia cernohorskýi* Nád.

1. Aunque *Parmelia tiliacea* auct. es nom. ambig. que generalmente designa a *Parmelia quercina* (Willd.) Vain., el nombre correcto de *Parmelia scortea* (Ach.) Ach. es *Parmelia tiliacea* (Hoffm.) Ach. o, con la reciente revisión de Hale (1976), *Parmelina tiliacea* (Hoffm.) Hale (cf. Dobson y Hawksworth, 1976).

Physcia orbicularis (Neck.) Poetsch
Physciopsis elaeina (Sm.) Poelt
Physconia grisea (Lam.) Poelt
Physconia pulverulenta (Schreb.) Poelt
Pseudevernia furfuracea (L.) Zopf.
Ramalina farinacea (L.) Ach.
Ramalina fastigiata (Pers.) Ach.
Teloschistes chrysophthalmus (L.) Th. Fr.
Xanthoria parietina (L.) Th. Fr.
Xanthoria stenophylla (Harm.) B. de Lesd²

Frullania dilatata (L.) Dum.
Homalothecium sericeum (Hedw.) Br. et Schimp.
Hypnum cupressiforme Hedw.
Orthotrichum affine Brid.
Orthotrichum diaphanum Brid.
Tortula laevipila (Brid.) Schwaegr.
Zygodon viridissimus (Dicks.) R.Br.

2. cf. Barkman (1958, p.414) sobre el *status* de este taxon tan característico de la vegetación epifítica mediterránea .